Untersuchungen

über

Störungen durch thermische Nachwirkung an Hitzdrahtgalvanometern

und

Vorschläge zur Beseitigung derselben.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät der Universität Rostock

vorgelegt von

Wilhelm Schwinning

aus Dresden.

Dresden
Druck von Woldemar Ulrich
1898.

Untersuchungen

über

Störungen durch thermische Nachwirkung an Hitzdrahtgalvanometern

und

Vorschläge zur Beseitigung derselben.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät der Universität Rostock

vorgelegt von

Wilhelm Schwinning

aus Dresden.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

Dresden

Druck von Woldemar Ulrich

1898.

Referent: Herr Prof. Dr. MATTHIESSEN.

Dem Bedürfnis nach bequem zu handhabenden Wechselstromgalvanometern ist bisher noch nicht genügt. Zwar sind durch Benützung der elektrodynamischen und der elektrostatischen Wirkungen, der Erwärmung eines Leiters durch den Strom und der Anziehung, die ein stromdurchflossenes Solenoid auf einen weichen Eisenkern ausübt, recht brauchbare Instrumente für Betriebsmessungen geschaffen worden, doch lassen nur die Elektrodynamometer und die Elektrometer eine Anwendung für genauere Untersuchungen zu. Die Verwendung der Elektrometer ist für schwächere Potentiale jedoch umständlich und setzt Spannungen über 10 Volt voraus, und die Dynamometer machen infolge ihrer hohen Selbstinduktion bei Spannungsmessungen sehr zeitraubende Korrektionsrechnungen nötig.

Ein Hitzdrahtgalvanometer bietet diesen gegenüber mehrere Vorteile, da es frei von Selbstinduktion ist, ein bequemes Arbeiten gestattet und sich auch für geringere Spannungen verwenden läfst. Die gebräuchlichen Instrumente zeigen aber eine so grofse thermische Nachwirkung, dafs sie für feinere Messungen unbrauchbar sind.

Der Verfasser hat auf Anregung von Herrn Prof. Dr. Hallwachs versucht, durch die folgenden Untersuchungen diesen Mangel zu beseitigen. Hierbei stellte sich heraus, dafs es in der That möglich ist, die Nachwirkung bis auf wenige Sekunden herabzudrücken.

§ 1.

Theoretisches.

Bei den meisten Hitzdrahtvoltmetern wird die Stromstärke durch die Ausdehnung eines von dem Strom erhitzten Drahtes gemessen, dessen Endpunkte konstant die Umgebungstemperatur besitzen.

Die Erwärmung kann über jeden Querschnitt des Drahtes konstant gesetzt werden, dann wird die Temperatur t eines in der Entfernung x von einem Endpunkte des Drahtes gelegenen Punktes nach der Zeit τ bestimmt durch die Differentialgleichung *)

$$\text{I.}\quad q.k\frac{d^2t}{dx^2}+\frac{i^2.w}{A}-p.a.t-c.\varrho\, q\frac{dt}{d\tau}=0.$$

Hierin bedeutet:

i die Stromstärke in absoluten Einheiten,
A das mechanische Wärmeäquivalent $= 41{,}9.10^6$,
$q=\frac{\pi}{4}\delta^2$ den Querschnitt,
$p=\pi.\delta$ den Umfang des Hitzdrahtes,
a das äufsere Wärmeleitvermögen,
k das innere Wärmeleitvermögen,
c die spezifische Wärme,
ϱ die Dichte des Drahtmaterials,
w den Widerstand der Längeneinheit des Drahtes.

Für den stationären Zustand der Temperaturverteilung ist $\frac{dt}{d\tau}=0$, also ergiebt sich die Gleichung

$$\text{II.}\quad \frac{d^2t}{dx^2}-\frac{a.p}{k\,q}.t+\frac{i^2.w}{A.k.q}=0.$$

Diese Gleichung ist von Czermak **) unter der Voraussetzung, dafs k a w und c konstant ist, integriert und experimentell bei Anwendung schwacher Ströme geprüft worden. Er zeigte dadurch, dafs bei jedem Hitzdraht eine längere Strecke von konstanter Temperatur vorhanden ist.

Allgemein läfst sich Gleichung II integrieren, sobald

$$\frac{dt}{dx}=t'\quad \frac{d^2t}{dx^2}=t'.\frac{dt'}{dt}$$

gesetzt wird. Dann wird

$$t'.\frac{dt'}{dt}=\frac{a.p}{k.q}t+\frac{i^2.w}{A.k.q}$$

*) J. Linde, Exner's Repertorium, Bd. 27 (1891) S. 401.

**) Sitzungsberichte der Kaiserl. Akademie d. Wissensch. in Wien, Bd. CIII Abt. IIa (1894) S. 1107 ff.

oder $$\frac{1}{2}t'^2 - c_1 = \frac{p}{q}\int\frac{a}{k}t.dt - \frac{i^2}{A.q}\int\frac{w}{k}dt,$$

wobei die Änderung von p und q mit der Temperatur aufser Acht gelassen ist.

Es ist daher

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{\sqrt{c_1 + 2\frac{p}{q}\int\frac{a}{k}t.dt - 2\frac{i^2}{A.q}\int\frac{w}{k}dt}},$$

und

$$\text{III.}\quad x = c_2 + \int \frac{dt}{\sqrt{c_1 + 2\frac{p}{q}\int\frac{a}{k}t.dt - 2\frac{i^2}{A.q}\int\frac{w}{k}dt}}.$$

Die Konstanten c_1 und c_2 sind dadurch bestimmt, dafs für $x = 0$ und $x = l$, wo l die ganze Länge des Drahtes ist, $t = t_0$ ist. Wird $t_0 = 0$ gesetzt, so giebt t die Temperaturerhöhung des Punktes x über die Umgebungstemperatur an.

Das Integral läfst sich nur dann auswerten, wenn die Beziehungen von a k und w zur Temperatur bekannt sind. Wird w k und a konstant angenommen, so ergiebt sich die Lösung*)

$$\text{IV.}\quad t = \frac{i^2.w}{a\,p.A}\left[1 - \frac{e^{\lambda x}}{1+e^{\lambda l}} - \frac{e^{-\lambda x}}{1+e^{-\lambda l}}\right],$$

wobei $\lambda^2 = \frac{ap}{kq}$ ist.

Für Gleichung IV kann man angenähert schreiben

$$\text{V.}\quad t = \frac{i^2.w}{a.p.A}\left(1 - e^{-\lambda x}\right).$$

Diese Gleichung zeigt, dafs nur dann die Temperatur eines Drahtes dem Quadrate der Stromstärke proportional zunehmen würde, wenn a k und w von der Temperatur abhängig wären. Man kann also keinesfalls erwarten, dafs die Empfindlichkeit $c = \frac{i}{\sqrt{n}}$ für alle Ausschläge n eines Hitzdrahtgalvanometers konstant ist.

Der Ausdruck $e^{-\lambda x}$ trägt dem Einflufs der Wärmeableitung durch die Endklemmen des Drahtes Rechnung. Er

*) Czermak a. a. O.

giebt den Unterschied der Temperatur des Punktes x gegen die gleich 1 zu setzende Temperatur in der Mitte eines unendlich langen Drahtes an. Für einen Platindraht von 0,2 mm Durchmesser fand Czermak $\lambda = 1{,}984$. λ ist ungefähr dem Durchmesser d umgekehrt proportional, also für einen 0,1 mm dicken Draht $\lambda = 4$.

Für $\lambda = 4$ wird $e^{-\lambda x} = \frac{1}{4000}$ für $x = \frac{1}{4} \log 4000 = \frac{8{,}29}{4} = 2{,}1$ cm.

Mit steigernder Temperatur nimmt λ noch etwas zu, da der äufsere Wärmeleitungskoefficient a beträchtlicher zunimmt als der innere Wärmeleitungskoefficient k. In der Mitte des Drahtes ist also eine Strecke konstanter Temperatur vorhanden, sobald von den Endpunkten aus je $200.\delta$ cm ausgeschlossen werden, wo δ der Drahtdurchmesser in cm ist.

Auf dieser Strecke ist dann die Temperaturerhöhung

$$\text{VI.}\quad t = \frac{i^2.w}{a.p.A} = \frac{1}{a} \cdot \frac{4}{\pi.\delta.A} \cdot i^2.w,$$

da hier t, also auch a und w konstant ist.

Diese Gleichung giebt ein Mittel an die Hand, die Änderung des Koefficienten der äufseren Wärmeleitung mit der Temperatur zu bestimmen.

Von Wichtigkeit ist noch die Frage, nach welcher Zeit der stationäre Temperaturzustand eintritt. Hierbei soll nur der Punkt in der Mitte des Drahtes betrachtet werden. Für diesen ist $\frac{d^2t}{d^2x} = 0$, demnach ergiebt sich aus Gleichung I die Differentialgleichung

$$\text{VII.}\quad c.\varrho.q \frac{dt}{d\tau} = \frac{i^2.w}{A} - p.a.t$$

Sei a w und g konstant, so folgt hieraus

$$\tau = -\frac{c.\varrho\, q}{p.a} \log C \left(t - \frac{i^2.w}{A.p.a} \right).$$

Für $\tau = 0$ ist $t = 0$, also wird $C = \frac{i^2.w}{A.p.a}$ und

$$\tau = -\frac{c.q.\varrho}{p.a} \log \left(1 - \frac{A.p.a}{i^2.w} t \right),$$

$$\text{VIII.}\quad t = \left(1 - e^{-\tau \frac{p.a}{c.q.\varrho}} \right) \frac{i^2.w}{A.p.a}.$$

Der Exponentialausdruck giebt den Einfluſs der Zeit auf die Temperaturerhöhung an. Dieser kann für ein Meſsinstrument vernachlässigt werden, sobald der Exponentialausdruck kleiner als $^1/_{10000}$ ist. Es muſs also

$$\pi \frac{p.a}{c.q.\varrho} \geqq \log\ 10000 = 9{,}21 \text{ sein.}$$

In dem später (S. 31) beschriebenen Instrument kommt ein Platinsilberdraht von 0,03 mm Dicke zur Verwendung. Für einen solchen ist

$$c = 0{,}04 \quad \varrho = 12 \quad \frac{p}{q} = \frac{4}{\delta} = \frac{4000}{3}.$$

Der Koefficient der äuſseren Wärmeleitung wurde zu 0,010 gefunden (S. 15).

Für τ folgt daher

$$\tau \geqq \frac{3 . 0{,}04 . 1\ 2 . 9{,}21}{4000 . 0{,}010} = 0{,}33 \text{ Sek.}$$

Nach 0,33 Sek. ist also der Endzustand für einen 0,03 mm dicken Platinsilberdraht bis auf 0,01 % erreicht. Für einen 0,1 mm dicken Draht sind hierfür 1,8 Sek. nötig.

Es muſs also jedenfalls möglich sein, ein Hitzdrahtgalvanometer zu konstruieren, in dem die thermische Nachwirkung auf wenige Sekunden herabgedrückt ist.

Um einen Einblick in die Gesetze der Änderung des äuſseren Wärmeleitvermögens mit der Temperatur zu gewinnen, wurde dieser Koefficient an einigen Platinsilberdrähten bestimmt, die als Hitzdrähte in dem auf S. 31 beschriebenen Instrument ausgespannt waren (Fig. 5).

Die Methode ist im wesentlichen dieselbe wie die von Schleiermacher auf Platindrähte angewendete.*)

Nach Gleichung VI ist

$$t = \frac{i^2.w}{a.p.A} = \frac{i^2.w_1}{a.p.l.A},$$

wo w_1 der Widerstand einer 1 cm langen Strecke konstanter Temperatur auf dem Hitzdraht ist.

*) Wiedemanns Annalen (1885) Bd. 26 S. 287. Schleiermachers Versuche beziehen sich allerdings auf die Strahlung, während hier der Koefficient der äuſseren Wärmeabgabe, die hauptsächlich durch Konvektion erfolgt, untersucht werden soll.

Es ist dann

$$\text{IX. } a = \frac{i^2 . w_1}{t.p.l.A}.$$

Wird jetzt i in Milliampère, w_1 in Ohm, δ und l in cm eingesetzt, so ergiebt sich

$$a = \frac{i^2 . w_1}{4{,}19 . 10^6 . t . \pi . \delta . l},$$

$$\text{X. } a = 7{,}60 . \frac{i^2 . w_1}{t . \delta . l} 10^{-8}.$$

Um aus dieser Gleichung den äufseren Wärmeleitungskoefficienten berechnen zu können, mufs die Abhängigkeit der Temperaturerhöhung von der Stromstärke bekannt sein. Zu diesem Zwecke wird die Widerstandsänderung einer Strecke konstanter Temperatur auf dem Hitzdraht als Funktion der Stromstärke bestimmt und daraus ihre Temperaturerhöhung mittelst des Temperaturkoefficienten berechnet.

§ 2.

Die Bestimmung der Temperaturkoefficienten.

Als erste Aufgabe ergiebt sich also die Bestimmung der Temperaturkoefficienten der zu untersuchenden Platinsilberdrähte.

Zur Widerstandsbestimmung wurde der Draht und ein bekannter Widerstand in denselben Stromkreis hintereinandergeschaltet und die Spannung an den Klemmen beider verglichen. Zur Spannungsmessung diente ein Wiedemannsches Galvanometer von 1649 Ω Widerstand, das vermittelst eines Umschalters abwechselnd mit den Klemmen beider Widerstände verbunden werden konnte, so dafs die Ausschläge (400 bis 800 mm) immer nach der gleichen Seite erfolgten.*) Als Vergleichswiderstand diente ein Rheostat von Kaiser und Schmidt (Manganindraht).

*) Dies geschah, um Fehler durch Änderung des magnetischen Erdfeldes auszuschliefsen. Orientierungsfehler kamen nicht in Betracht, da die zu vergleichenden Ausschläge nur um 1 % oder weniger verschieden waren.

Die untersuchten Drähte sind von Heräus in Hanau bezogen und bestehen aus 30 % Pt und 70 % Ag. Die mikroskopische Messung der Durchmesser ergab für die betreffenden Stücke

Draht No. I $\delta = 0{,}1095$ mm
„ „ II $\delta = 0{,}0669$ „
„ „ III $\delta = 0{,}0501$ „
„ „ IV $\delta = 0{,}0300$ „ .

Die Drähte sind 4 bis 6 Min. lang durch den elektrischen Strom bei mittlerer Rotglut ausgeglüht worden. Vor der Temperaturkoefficientenbestimmung hatten sie sämtlich schon zu den Ausstrahlungsversuchen gedient. Bei unausgeglühten Drähten stellte sich heraus, dafs sich der Temperaturkoefficient schon infolge geringer Erwärmung (150°) bleibend ändert, so dafs bei ihnen genaue Temperaturbestimmungen aus der Widerstandsänderung ausgeschlossen sind.

Die Erwärmung der Drähte geschah in einem Bad von Vaselinöl. Das Vaselinöl befand sich in einem etwa 2 Liter haltenden Becherglas, welches in einem weiteren Glase stand. Der Zwischenraum war mit Wollwatte ausgefüllt. Ein an Glasstäben geführter Rührer hielt das Bad beständig in Bewegung. Der zu untersuchende Draht war auf ein etwa 20 mm weites sehr dünnwandiges Glasrohr gewickelt. Seine Enden waren mit reinem Zinn an zwei 3,5 mm dicke Kupferdrähte gelötet, deren Widerstand 0,0007 Ω betrug. Um Thermoströme auszuschliefsen, wurden die Stromzuleitungen und Abzweigungen aus Kupferdraht ebenfalls an diesen festgelötet. Einige Vorversuche zeigten, dafs dann keine Thermoströme auftraten, die die Genauigkeit des Resultats beeinflussen konnten. Die Erwärmung der Flüssigkeit geschah durch elektrische Heizung. Bei der Berechnung des Widerstandes der Platinsilberdrähte wurde der Widerstand der dicken Kupferzuleitungen und ihr Temperaturkoefficient berücksichtigt.

Zur Temperaturbestimmung des Bades dienten zwei von Wiegand in Dresden gelieferte Einschlufsthermometer aus Jenenser Normalglas, von denen das eine von 0 bis 200° C., das andere von —10 bis 180° C. eingeteilt war.

Die Kalibrierung geschah nach Bestimmung der Fixpunkte in bekannter Weise mittelst dreier Fäden von 50°, 25° und 17° Länge. Der Einfluſs des aus der Flüssigkeit herausragenden Fadens wurde nach den von Rimbach*) gegebenen Tabellen berücksichtigt. Man kann bei der angewendeten Methode der Widerstandsbestimmung, da jeder Wert der Tabellen das Mittel aus 3 bis 5 Beobachtungen darstellt, auf eine Genauigkeit von etwa $^1/_{30}$% rechnen. Die Widerstandszunahme des Platinsilbers beträgt für 1° C. ungefähr $^1/_{37}$%, so daſs ein Fehler von 1,3° in der Temperaturbestimmung zulässig ist. Ein solcher Fehler ist aber nicht zu erwarten, da die korrigierten Angaben beider Thermometer auch bei den höchsten Temperaturen nur um wenige Zehntelgrade verschieden waren.

Es mögen nunmehr die Versuchsresultate mitgeteilt werden.

Platinsilberdraht No. I.

Durchm. = 0,1095 mm.

Temperatur ° C.	Widerstand Ω	Temperatur-koefficient
16,7	3,0290	
38,0	3,0465	0,000272
54,3	3,0586	0,000260
54,5	3,0590	0,000262
87,6	3,0875	0,000272
114,9	3,1095	0,000270
115,8	3,1107	0,000272
118,3	3,1123	0,000271
141,7	3,1320	0,000272
146,9	3,1356	0,000270
164,4	3,1497	0,000270

Als Mittelwert des Temperaturkoefficienten folgt

$$\alpha = 0{,}000271.$$

*) Zeitschrift für Instrumentenkunde (1890) S. 153.

Platinsilberdraht No. II.

Durchm. = 0,0669 mm.

Temperatur ⁰ C.	Widerstand Ω	Temperatur-koefficient
16,3	13,283	
16,6	13,285	
36,3	13,355	0,000275
45,5	13,389	0,000274
76,7	13,503	0,000275
82,8	13,529	0,000280
109,1	13,622	0,000276
123,7	13,679	0,000278
134,8	13,717	0,000276
149,4	13,770	0,000276
158,2	13,805	0,000278
165,6	13,838	0,000279

Im Mittel ist also $\alpha = 0{,}000277$.

Platinsilberdraht No. III.

Durchm. = 0,0501 mm.

Temperatur ⁰ C.	Widerstand Ω	Temperatur-koefficient
16,6	22,156	
35,3	22,272	0,000280
35,6	22,274	0,000280
61,9	22,433	0,000276
86,9	22,585	0,000273
89,6	22,601	0,000276
126,9	22,831	0,000276
148,8	22,965	0,000276
160,2	23,032	0,000276
165,1	23,065	0,000277

Der Mittelwert des Temperaturkoefficienten ist

$\alpha = 0{,}000276$.

Platinsilberdraht No. IV.

Durchm. = 0,0300 mm.

Temperatur ° C.	Widerstand Ω	Temperatur-koefficient
16,9	70,44	
17,0	70,45	
39,7	70,84	0,000244
80,8	71,61	0,000256
129,5	72,52	0,000261
133,1	72,59	0,000261
159,3	73,09	0,000263
164,5	73,19	0,000264

Der Temperaturkoefficient ist demnach

$$\alpha = [246{,}5 + 0{,}32\,(t-50) - 0{,}0016\,(t-50)^2]10^{-6}$$

§ 3.

Die Bestimmung der äufseren Wärmeleitungskoefficienten.

Zwei über den im Galvanometer (Fig. 5) ausgespannten Hitzdraht gehängte 0,03 mm dicke Platinsilberdrähte, die durch einen Strohhalm verbunden und in konstantem Abstand erhalten waren, grenzten eine Strecke konstanter Temperatur auf dem Hitzdraht ab. Der Widerstand w_1 des Hitzdrahtes zwischen den Zweigdrähten ergab sich mittelst der schon erwähnten Methode der Spannungsvergleichung, wobei die Erhöhung des Galvanometerwiderstandes (11650 Ω) durch den Widerstand der Zweigdrähte (32 Ω) bei der Berechnung berücksichtigt wurde. Thermoströme traten, wie einige Vorversuche zeigten, nicht auf.

Aus der Widerstandszunahme $\triangle w_1$ kann man mit Hilfe der im vorigen Paragraphen berechneten Temperaturkoefficienten α die Temperaturzunahme t des Hitzdrahtes für eine bestimmte Stromstärke ermitteln, da nämlich

$$t = \frac{\triangle w_1}{w_1 . \alpha}.$$

Dann ist nach Gleichung X

$$a = 7{,}60 . \frac{i^2 . w_1}{t . \delta . l} . 10^{-8}$$

oder

$$a = 7{,}60 . i^2 \left(\frac{1}{t} + \alpha \right) w_{19} . \frac{10^{-8}}{\delta . l} .$$

$$a = C . \left(\frac{1}{t} + \alpha \right) i^2 .$$

Hierin ist

$$C = 7{,}60 . \frac{w_{19}}{\delta\, l}\, 10^{-8}$$

und w_{19} der Wert von w_1 für $t = 0^0$, entsprechend der Umgebungstemperatur 19^0.

Platinsilberdraht No. I.

Durchm. = 0,1095 mm.

Die ganze Länge des Hitzdrahtes war $16{,}685$ cm, der Abstand zwischen den Zweigdrähten $l = 11{,}86$ cm, w_{19} ergab sich zu $3{,}89$ Ω, es ist also

$$C = \frac{7{,}60 . 3{,}89}{1{,}095 . 11{,}86}\, 10^{-6} = 2{,}280 . 10^{-6} .$$

In den folgenden Tabellen ist w_1, um einen bequemen Vergleich zu ermöglichen, jedesmal auf die Umgebungstemperatur 19^0 reduziert.

Draht No. I.

Stromstärke MA	Widerstand Ω	Temperaturerhöhung ° C.	Äußerer Wärmeleitungskoeffic. g. cal. für 1 cm²
20,0	3,888		
40,0	3,889	1	
86,0	3,891	3	$5{,}0 . 10^{-3}$
146,1	3,900	11	4,4
197,6	3,913	24	3,74
250,6	3,929	39	3,72
298,6	3,946	55	3,76
363,5	3,971	79	3,90
430,2	4,000	106	4,08
535,2	4,049	153	4,45
618,2	4,096	198	4,63
709,0	4,152	251	4,86
832,7	4,233	328	5,24
947,1	4,326	416	5,47

Platinsilberdraht No. II.

Durchm. = 0,0669 mm.

Der Abstand der Zweigdrähte betrug $11{,}_{71}$ cm, $w_{19} = 10{,}_{46}\ \Omega$, also ist

$$C = 10{,}_{15}.10^{-6}$$

Draht No. II.

Stromstärke MA	Widerstand Ω	Temperaturerhöhung ° C.	Äußerer Wärmeleitungskoeffic. g. cal. für 1 cm²
16,0	10,46		
30,0	10,475	2	$4{,}57.10^{-3}$
60,0	10,489	7	5,30
100,0	10,525	19	5,44
180,3	10,642	60	5,75
220,8	10,721	87	5,91
260,3	10,810	118	6,10
300,2	10,908	152	6,35
345,3	11,023	191	6,77
390,6	11,151	236	7,10
448,5	11,333	298	7,55

Platinsilberdraht No. III.

Durchm. = 0,0501 mm.

Der Abstand der Zweigdrähte wurde zu $11{,}_{89}$ cm, der Widerstand w_{19} zu $17{,}_{55}\ \Omega$ bestimmt, also ergiebt sich

$$C = 22{,}_{38}.10^{-6}$$

Draht No. III.

Stromstärke MA	Widerstand Ω	Temperaturerhöhung ° C.	Äußerer Wärmeleitungskoeffic. g. cal. für 1 cm²
4,7	17,55		
11,35	17,55		
22,3	17,553	2	$5{,}6\ .10^{-3}$
36,0	17,565	5	5,8
50,95	17,591	9	6,5
68,05	17,623	16	6,5
90,3	17,685	28	6,5
112,3	17,765	44	6,4
134,9	17,850	62	6,6
160,1	17,969	86	6,7
201,0	18,179	128	7,06
232,0	18,348	162	7,42
268,0	18,570	207	7,75
296,8	18,765	246	8,01
346,8	19,170	328	8,21

Platinsilberdraht No. IV.

Durchm. = 0,0300 mm.

Der Abstand der Zweigdrähte war 12,00 cm, der Widerstand $w_{19} = 54{,}60\ \Omega$, also

$$C = 115{,}2.10^{-6}$$

Draht No. IV.

Stromstärke MA	Widerstand Ω	Temperatur-zunahme ° C.	Äufserer Wärme-leitungskoeffic. g. cal. für 1 cm²
1,9	54,60		
12,0	54,63	2	
25,0	54,73	10	$7{,}2\ .10^{-3}$
37,0	54,89	21	7,5
49,9	55,07	34	8,5
62,0	55,30	50	9,0
75,0	55,56	68	9,6
86,95	55,87	89	10,0
105,6	56,37	124	10,34
111,6	56,54	135	11,00
125,0	56,96	164	11,43
133,3	57,24	183	11,73

Alle diese Versuchsreihen lassen einerseits das starke Ansteigen des Koefficienten der äufseren Wärmeleitung mit zunehmender Temperatur, andererseits sein Wachsen, wenn die Drahtdicke abnimmt, hervortreten (siehe besonders die graphische Darstellung in Fig. 1). Auf die Erzielung einer über die ganze Skala konstatierten quadratischen Empfindlichkeit ist daher zu verzichten.

§ 4.

Thermische Nachwirkung an Hitzdrahtgalvanometern.

Ein grofser Fehler der Hitzdrahtinstrumente besteht darin, dafs die stationäre Einstellung erst nach mehreren Minuten eintritt. Dies kann nur an der thermischen Wechselwirkung zwischen Hitzdraht und Galvanometergrundplatte liegen, denn S. 7 wurde gezeigt, dafs nur ganz kurze Zeit (1/3 Sekunde) nötig ist, um den stationären Zustand des Hitzdrahtes eintreten zu lassen.

Über den Betrag und Verlauf der Nachwirkung geben folgende Versuchsreihen Auskunft.

1. *Spannungsmesser von Hartmann und Braun.*

No. 23079 (in Holzgehäuse), Skala von 0 bis 120 Volt.

Die Konstanz der angelegten Akkumulatorenspannung wurde durch ein Westonvoltmeter bis auf 0,1 Volt genau kontrolliert.

Zeit vom Stromschluſs an	Abgelesene Spannung Volt	Abweichung vom Endwert (nach 105 Min.) in %
15 Sek.	107,8	4,5
30	107,8	4,5
45	107,9	4,4
1 Min.	107,95	4,4
1 30	108,05	4,3
2	108,1	4,3
3	108,2	4,2
4	108,25	4,1
5	108,35	4,0
6	108,6	3,8
8	108,8	3,6
10	109,0	3,5
12	109,1	3,4
15	109,2	3,3
18	109,5	3,0
21	109,85	2,7
24	109,9	2,7
27	110,0	2,6
30	110,05	2,5
35	110,05	2,5
42	110,15	2,4
50	110,3	2,3
60	110,7	2,0
1 St. 10	111,1	1,6
1 21	111,8	1,0
1 30	112,1	0,7
1 45	112,9	

120 Min. nach Stromschluſs wurde unterbrochen und die Zeigerstellung, die statt 0,0 Volt abgelesen wurde, in der folgenden Tabelle notiert.

Zeit vom Augenblick der Stromöffnung an	Ablesung Volt
15 Sek.	31
1 Min. 30	28
6	26,5
12	25,5
31	22
1 St. 15	20
3	18
24	18

Die starke, dauernd bleibende Nachwirkung läfst auf eine Änderung des ganzen Instrumentes durch die Erwärmung schliefsen.

2. *Spannungsmesser von Hartmann und Braun.*

No. 24746 (Metallgehäuse), Skala 0 bis 100 Volt.

Die Konstanz der Akkumulatorenspannung wurde wieder durch ein Westonvoltmeter kontrolliert.

Zeit vom Stromschlufs an	Abgelesene Spannung Volt	Abweichung vom Endwert in %
15 Sek.	92,7	+ 0,49
25	92,2	— 0,05
35	92,3	+ 0,05
45	92,3	+ 0,05
1 Min.	92,4	0,16
1 15	92,5	0,27
1 30	92,6	0,28
2	92,7	0,49
2 30	92,7	0,49
3	92,7	0,49
4 30	92,6	0,38
6	92,5	0,27
9	92,3	0,05
15	92,25	0,0
21	92,25	0,0

22 Min. nach Stromschlufs wurde der Strom unterbrochen. Über die Zeit bis zur Erreichung des alten Nullpunktes giebt folgende Tabelle Auskunft.

Zeit vom Augenblick der Stromöffnung an	Ausschlag, gemessen in 1 Volt-Skalenteilen der Teilung bei 92 Volt
5 Sek.	0,7
15	0,6
30	0,45
45	0,35
60	0,3
2 Min.	0,2
3	0,1
4	0,05
6	alte Null-
12	stellung

3. *Hitzdrahtgalvanometer von Friese.*

In diesem Instrument wird die Ausdehnung eines Platinsilberdrahtes von 47,3 Ω Widerstand gegen ein dickwandiges Glasrohr gemessen.*)

Durch den Hitzdraht wurde ein Strom von 91,3 MA gesendet, der bei 1000 mm Skalenabstand 158 mm Ausschlag bewirkte. Es ergaben sich folgende Ablesungen.

*) Elektrotechn. Zeitschrift (1895) S. 726.

Zeit vom Stromschlufs an	Ausschlag mm	Abweichung der berechneten Stromstärke vom Endwert in %
13 Sek.	158,3	0,75
23	158,4	0,72
28	158,5	0,68
33	158,6	0,65
38	158,7	0,62
43	158,8	0,59
48	158,9	0,56
53	159,0	0,53
58	159,1	0,50
1 Min. 3	159,2	0,47
8	159,3	0,44
13	159,4	0,40
18	159,5	0,37
23	159,6	0,34
38	159,7	0,31
48	159,8	0,28
58	159,9	0,25
2 8	160,0	0,22
18	160,1	0,19
33	160,2	0,16
53	160,3	0,12
3 13	160,4	0,09
33	160,5	0,06
4 13	160,6	0,03
48	160,7	0,0

Nach 6 Min. wurde unterbrochen, worauf sich folgende Ablesungen ergaben.

Zeit von der Stromunterbrechung an	Ablesung mm	Abweichung von der stationären Nulllage in mm
8 Sek.	508,7	2,7
13	508,5	2,5
18	508,3	2,3
23	508,2	2,2
28	508,1	2,1
33	508,0	2,0
43	507,9	1,9
48	507,8	1,8
53	507,7	1,7
58	507,6	1,6
1 Min. 3	507,5	1,5
13	507,4	1,4
18	507,3	1,3
28	507,2	1,2
33	507,1	1,1
43	507,0	1,0
2 13	506,9	0,9
33	506,8	0,8
48	506,7	0,7
3 3	506,6	0,6
18	506,5	0,5
33	506,4	0,4
48	506,3	0,3
4 3	506,2	0,2
43	506,1	0,1
5 56	506,0	0,0

An diesem Galvanometer wurde auch eine Konstantenbestimmung durch Aichung mit einem Torsionsgalvanometer vorgenommen, deren Ergebnisse in nachstehender Tabelle zusammengestellt sind. Die Ablesungen geschahen, um den Einfluſs der thermischen Nachwirkung überall möglichst gleich zu bekommen, in der Reihenfolge, daſs 10 Sek. nach Stromschluſs das Hitzdrahtgalvanometer abgelesen wurde, dann das Torsionsgalvanometer. Hierauf wurde unterbrochen und 20 Sek. nach dem Öffnen der Nullpunkt bestimmt. 25 Sek. nach der Unterbrechung wurde der Strom wieder geschlossen.

Nullpunkt	Ablesung	Ausschlag mm	Ausschlag n korrigiert auf den Bogen	Stromstärke i MA	$c = \frac{i}{\sqrt{n}}$
505,5	663,6	158,1	156,8	91,4	7,30
507,3	618,8	111,5	111,0	78,1	7,41
507,6	587,7	80,1	79,9	68,1	7,63
507,4	550,7	43,3	43,3	53,7	8,17
507,1	535,6	28,5	28,5	46,6	8,75
506,8	526,8	20,0	20,0	41,1	9,18
506,7	519,9	13,2	13,2	34,2	9,41
506,6	516,2	9,6	9,6	29,2	9,43
506,4	510,3	3,9	3,9	18,5	9,37

Die letzte Versuchsreihe zeigt, daſs die Annahme von Friese, sein Galvanometer besitze eine konstante quadratische Empfindlichkeit, sich nicht bestätigt.

Im Übrigen ergeben alle Messungsreihen, daſs die untersuchten Instrumente für genauere Messungen nicht verwendbar sind, da ihre thermische Nachwirkung bis zu mehreren Prozenten ansteigt.

§ 5.

Allgemeines über thermische Strommesser.

Bevor gezeigt wird, wie die Nachwirkung genügend herabgemindert werden kann, möge ein Überblick über die für thermische Strommesser möglichen Wege folgen.

Ein solches Mefsinstrument läfst sich entweder als Kalorimeter oder als Thermometer ausbilden.

Der erste Fall ist für Strommessungen nicht benutzbar, indes erscheint der Versuch, die thermometrische Methode zu verwenden, also die Erwärmung eines von der Stromwärme beeinflufsten Körpers zu bestimmen, sobald das Gleichgewicht zwischen Wärmeausstrahlung und Wärmeentwickelung eingetreten ist, nicht aussichtslos.

Dabei müfste das Instrument jedenfalls ein Differentialthermometer sein, es müssen also seine beiden Teile, der erwärmte und der auf Zimmertemperatur erhaltene, die gleiche und zwar möglichst geringe Wärmekapacität besitzen, um Temperaturschwankungen rasch folgen zu können.

Dieser Grundsatz ist aber weder von Friese noch von Asch beachtet worden, denn Friese mifst die Ausdehnung eines dünnen Platinsilberdrahtes gegen ein dickwandiges Glasrohr, und Asch, in den Spannungsmessern von Hartmann und Braun, die eines durchgebogenen Hitzdrahtes gegen eine kräftige Metallschiene.*) Auch Hertz bestimmt in seinem Hitzdrahtgalvanometer**) die Längenänderung eines geradlinigen Drahtes gegen eine Messingschiene.

Der Fehler läfst sich jedoch ohne weiteres beseitigen, wenn man die Erwärmung des Hitzdrahtes gegenüber einem dünnen Drahte aus dem gleichen Material bestimmt, wodurch gleichzeitig eine gute Temperaturkompensation geschaffen wird. (Über die Anwendung dieses Prinzips siehe §§ 7 und 8.)

Es stehen uns aufser der Messung der Ausdehnung des Hitzdrahtes noch mehrere Wege offen, seine Erwärmung zu bestimmen. Wir können, wie dies Ries gethan hat, ein Luftthermometer verwenden, oder, was ebenfalls vorgeschlagen ist, ein Flüssigkeitsthermometer, doch werden wir in beiden Fällen eine noch viel bedeutendere thermische Nachwirkung erhalten, wie die bisher beobachteten.

Viel besser können wir aus der Widerstandszunahme des erwärmten Drahtes auf seine Temperaturerhöhung schliefsen.

*) Elektrotechn. Zeitschrift (1893) S. 162.

**) Zeitschrift für Instrumentenkunde (1883) S. 17.

Diese Methode haben Paalzow und Rubens*) in eleganter Weise verwendet, doch hat sie den Nachteil, dafs die Widerstandsbestimmung einen Hilfsstrom nötig macht, dessen Wärmeentwickelung leicht die Genauigkeit der Resultate beeinflufst.

§ 6.

Thermoelektrische Strommessung.

Dieser Mangel fällt fort, wenn wir die Temperaturerhöhung thermoelektrisch bestimmen, da ein Thermoelement stets ein Differentialthermometer ist.

Man kann hierbei zwei verschiedene Wege verfolgen, entweder erwärmt man eine um die andere Lötstelle durch direkte Wärmeüberführung vom Hitzdraht oder durch Bestrahlung.

Im ersten Falle können wir zwar eine etwas höhere Empfindlichkeit, aber auch eine bedeutend höhere thermische Nachwirkung als im zweiten Falle erwarten, denn der Hitzdraht mufs, da er mit dem Thermoelement in direkte Berührung kommt, von ihm isoliert sein, und sämtliche Isolatoren sind sehr schlechte Wärmeleiter. Um dies zu beweisen, wurden einige Versuchsreihen mit einer Kette von vier hintereinander geschalteten Thermoelementen aus 0,18 mm Eisendraht und 0,14 mm Konstantandraht angestellt. Alle ungeraden Lötstellen dieser Kette sind mit seideumsponnenem 0,08 mm dickem Manganindraht, der als Hitzdraht dient, in je 5 bis 6 ganz engen Windungen fest umwickelt. Die anderen Lötstellen befinden sich frei in der Luft. Über die ganze Vorrichtung ist zum Schutz gegen Luftströmungen ein Holzkästchen gedeckt. Der Widerstand der Thermoelemente beträgt 8,9 Ω, der des Hitzdrahtes 15,9 Ω. Der Thermostrom, welcher entsteht, sobald durch den Hitzdraht Strom fliefst, wurde in einem Wiedemannschen Galvanometer von 6,4 Ω Widerstand bestimmt.

Betrug der Strom im Hitzdraht 175 MA, so ergaben sich bei 2000 mm Skalenabstand folgende Ausschläge.

*) Wiedemanns Annalen (1889) Bd. 37 S. 529.

Zeit vom Augenblick des Stromschlusses an	Ausschlag mm	Abweichung der berechneten Stromstärke vom Endwert in %
15 Sek.	326,0	6,3
30	358,0	2,0
45	365,5	0,97
60	368,5	0,56
1 Min. 30	370,5	0,36
2	371,3	0,19
3	371,8	0,12
4	372,3	0,05
5	372,5	0,03
6	372,65	0,01
8	372,7	0,0

Nach 45 Min. Stromdurchgang wurde unterbrochen, worauf folgende Ausschläge beobachtet wurden.

Zeit von der Stromunterbrechung an	Ausschlag mm
20 Sek.	26
45	19
90	13,1
2 Min.	11,2
4	5,1
10	1,9

Man sieht, dafs diese von Feufsner*) vorgeschlagene Methode ebenfalls keine Aussicht auf Erfolg bietet.

§ 7.

Vorschlag für ein neues Instrument zur thermoelektrischen Strommessung mit rascher Einstellung.

Der zweite Weg, die Lötstellen durch Bestrahlung zu erwärmen, läfst jedoch die thermoelektrische Strommessung

*) Feufsner, Die Ziele der neueren elektrotechn. Arbeiten der phys.-techn. Reichsanstalt (1897) S. 145.

in einem besseren Lichte erscheinen. Für diese Art der Messungen konstruierte der Verfasser folgendes Instrument (siehe die Photographie Fig. 2).

Ein Eichenbrett trägt drei Messingstücke, zwischen denen die Thermosäule ausgespannt ist. Sie ist im Interesse der leichten Herstellung und möglichsten Unveränderlichkeit des Apparates geradlinig. Auf jedem Teile liegen je fünf Lötstellen in Abständen von 15 mm. Um eine solche Thermosäule anzufertigen, legt man zwei Drähte — und zwar kam Konstantandraht von $0{,}_{14}$ mm und Kupferdraht von $0{,}_{08}$ mm Durchmesser zur Verwendung — ganz dicht nebeneinander, dreht sie etwas zusammen und versieht sie in Entfernungen von 15 mm mit Lötstellen, die sich leicht mit ganz wenig Lot herstellen lassen. Zwischen je zwei Lötstellen wird dann abwechselnd der Konstantandraht oder Kupferdraht entfernt.

Die Lötstellen werden eine um die andere durch den Strom erhitzt, die übrigen bleiben auf der Umgebungstemperatur. Die Erwärmung geschieht durch kleine Spiralen aus $0{,}_{14}$ mm Konstantandraht, die einen Durchmesser von $2{,}_{5}$ mm haben und bei 5 mm Länge aus je 5 Windungen bestehen. Sie sind konaxial mit den Thermoelementen angeordnet und durch 1 mm dicke Kupferdrähte untereinander verbunden und an dem Grundbrett befestigt. Sowohl die Erhitzungsspiralen als auch die Thermosäule sind durch eine Rufsschicht geschwärzt.

Über das Instrument wird ein $6{,}_{5}$ cm hoher aufsen schwarz lackierter Zinkblechkasten gedeckt und durch die vier Schrauben befestigt. Innen sind nur die Seitenwände des Kastens matt schwarz lackiert, dagegen bleibt die von dem heifsen Luftstrom getroffene Deckelfläche blank, um Fehler durch Bestrahlung der Thermosäule zu verhindern.

Der Widerstand der Thermoelemente beträgt $2{,}_{7}$ Ω, der des Hitzdrahtes $7{,}_{695}$ Ω.

Die Messung des Thermostromes geschah wieder durch das schon erwähnte Wiedemannsche Galvanometer, welches für $0{,}_{28} \cdot 10^{-6}$ A einen Skalenteil Ausschlag giebt. Vor das

Galvanometer war ein Kommutator geschaltet, um mit doppelseitigen Ausschlägen arbeiten zu können, und dadurch etwa in der Leitung auftretende Thermoströme unschädlich zu machen.

P. Bachmetjew*) behauptet, dafs Thermoelemente bedeutende Remanenzerscheinungen zeigen, und zwar soll die elektromotorische Kraft für dieselbe Temperaturdifferenz $t_1 - t_0$ bis zu mehreren Prozenten von der vorangegangenen Erwärmung oder Abkühlung abhängig sein. Wäre dies der Fall, so müfsten auch die Angaben des erwähnten Strommessers um mehrere Prozente verschieden sein, je nachdem wir zu dem zu messenden Strom von stärkeren oder schwächeren Strömen aus gelangt sind. Es liefs sich jedoch kein solcher Einfluſs nachweisen, wie die folgende Tabelle zeigt. Der Strom wurde hierbei von 5 Akkumulatoren unter Anwendung verschiedener Vorschaltwiderstände geliefert.

Vorschaltwiderstand Ω	Doppelseitiger Ausschlag mm	Abweichung der berechneten Stromstärke vom Mittelwert in %
80	424,7	+0,003
100	293,8	
80	424,65	—0,003
70	526,5	
80	424,65	—0,003
∞		
80	424,65	—0,003
80	424,65	—0,003
55	770,0	
80	424,75	+0,009
50	895,0	
80	424,65	—0,003
80	424,65	—0,003
100	293,75	
Mittelwert für 80 Ω	424,675	

Die Abweichungen liegen innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler und lassen also keine Remanenzerscheinungen erkennen.

*) Beiblatt zu Wiedemanns Annalen (1898) S. 343.

Über die thermische Nachwirkung giebt die nachstehende bei 50 Ω Vorschaltwiderstand beobachtete Versuchsreihe Aufschlufs.

Zeit vom Stromschlufs an	Kommutierte Ablesungen +	Kommutierte Ablesungen −	Doppelseitiger Ausschlag mm	Abweichung der berechneten Stromstärke vom Endwert in %
10 Sek.	905			
20	912,7			—0,03
30	913,0			0,0
45	913,0			0,0
60	913,0			0,0
1 Min. 30	913,0	18,0	895,0	0,00
2	913,0	18,0	895,0	0,00
2 30	913,0	17,95	895,05	0,00
3	913,0	17,95	895,05	0,00
4	912,95	17,9	895,05	0,00

Bei der Stromunterbrechung ist der Anfangszustand ebenfalls wieder in ungefähr 30 Sek. erreicht.

Hiernach verhält sich das Instrument in seinen Eigenschaften wie ein stark gedämpftes periodisches Galvanometer mit etwa 30 Sek. Schwingungsdauer. Die thermische Nachwirkung ist also auf ein so geringes Mafs herabgedrückt, dafs der Anwendung der Vorrichtung für feinere Messungen nichts im Wege steht.

Die Aichung ergab bei 19° C. die in folgender Tabelle enthaltenen und in Fig. 3 graphisch dargestellten Resultate. Die Bestimmung der Stromstärke geschah hierbei durch Messung der Spannung an den Klemmen eines 100 Ω Normalwiderstandes mittelst eines Feufsnerschen Kompensationsapparates und eines Kadmiumnormalelementes.

Stromstärke i in MA i	Doppelseitiger Ausschlag, reduziert auf die Tangente n	Empfindlichkeit $\frac{i}{\sqrt{n}}$
44,84	70,25	5,350
63,00	132,90	5,465
78,89	200,95	5,565
98,75	302,55	5,673
112,93	384,55	5,759
131,63	505,35	5,855
112,94	384,30	5,761
98,77	302,5	5,679
78,84	200,45	5,569
62,95	133,10	5,456
44,79	69,8	5,361

Die elektromotorische Kraft der Thermosäule ist für eine bestimmte Stromstärke von der Umgebungstemperatur nur wenig abhängig. Die Ausschläge des verwendeten Wiedemannschen Galvanometers ändern sich jedoch mit steigernder Temperatur, da die Bewickelung aus Kupferdraht besteht So bewirkte der Strom 98,77 MA im Hitzdraht bei 26° C. den Ausschlag 296,75 mm, die Empfindlichkeit ändert sich also für 1° Temperaturzunahme um 0,11 %, der Ausschlag um 0,28 %.

Die Spannung an den Klemmen des Instrumentes läfst sich aus dem Widerstand w der Erhitzungsspiralen berechnen. Sie ist für den Strom 130 MA (500 mm Ausschlag)

$$7{,}69 \,.\, 0{,}130 = 1{,}00 \text{ Volt.}$$

Der Widerstand w wurde bei 18° C.

für 33,4 MA zu 7,698 Ω,
für 197 MA zu 7,687 Ω

bestimmt. Man kann also somit setzen

$$w = 7{,}698 - n.0{,}00001 \ \Omega,$$

wobei n den doppelseitigen Ausschlag bedeutet.

Für alle Messungen genügt es, w konstant

$$= 7{,}695 \ \Omega$$

zu setzen.

§ 7.

Vorschlag
für ein neues Ausdehnungs-Hitzdrahtgalvanometer.

Die zweite Möglichkeit, die thermische Nachwirkung zu beseitigen, bestand, wie wir gesehen haben, darin, die Ausdehnung eines dünnen stromdurchflossenen Drahtes infolge seiner Erwärmung gegen einen anderen ganz gleichartigen stromlosen Draht, den wir als Mefsdraht bezeichnen wollen, zu bestimmen.

Es ist hierbei erforderlich, den Hitzdraht horizontal anzuordnen, da sonst die auftretenden Strömungen der heifsen Luft das ruhige Einstellen des Spiegels verhindern. Dies fällt sofort auf, wenn man ein Cardewvoltmeter bei einer Spannung von etwa 130 Volt einmal in vertikaler und einmal in horizontaler Lage abliest. Im ersten Falle treten beständige starke Schwankungen des Zeigers, auch bei Verwendung von Akkumulatorenstrom, über einen Bereich von mehr als 2 Volt auf, die im zweiten Fall fast ganz verschwinden.

Die auftretenden Längenänderungen sind sehr geringe, es ist daher vorteilhaft, nach dem Vorgang von Ayrton und Perry sowie Hartmann und Braun, einen durchgebogenen Hitzdraht zu verwenden. Hierbei ist aber die Befestigung eines Übertragungsdrahtes an dem Hitzdraht umständlich, da sie durch Hartlöten geschehen mufs.

Um das Einziehen neuer Hitzdrähte zu erleichtern, und zu verhindern, dafs die Übertragungsdrähte Wärme fortführen, ist es zu empfehlen, den stromführenden Draht geradlinig zu lassen, dagegen den stromlosen Mefsdraht durchzubiegen und die Endpunkte beider zwangläufig zu verbinden. Einer Verlängerung des Hitzdrahtes entspricht dann eine mehrfach gröfsere Verringerung der Durchbiegung des Mefsdrahtes. Ist nämlich die Länge des stromlosen Drahtes l, und verschiebt sich einer seiner Endpunkte um dl, so ändert sich die Durchbiegung h um $dh = \frac{l}{4h} . dl$.

Die Anwendung dieses Prinzips auf ein Spiegelgalvanometer geschieht am besten in der aus Fig. 4 ersichtlichen Weise.

Zwischen den festen von einander isolierten Metallträgern A und B und dem an der Feder F befestigten Aluminiumklotz sind der geradlinige Hitzdraht a und der durchgebogene Mefsdraht b ausgespannt. Die kleine Feder f dient vermittelst des angelöteten Übertragungsdrahtes c dazu, die Durchbiegung konstant zu erhalten. Der Draht c ist gleichzeitig um das Röllchen r des Spiegelträgers t geführt und daran festgelötet, so dafs der Draht sich auch bei den gröfsten Ausschlägen nicht bis zur Lötstelle abwickeln kann. Der aus 1 mm starkem Stahldraht hergestellte Spiegelträger ist, um eine zwangläufige Drehaxe festzulegen, zweimal aufgehängt, vertikal an dem Faden o und horizontal an dem bei B am Gestell befestigten Draht i, welcher durch ein dünnes diametrales Loch des Röllchens r geführt ist.

Der Spiegelhalter selbst besteht aus Aluminiumblech. In ihn wird der auf eine entsprechend grofse Aluminiumscheibe gekittete Spiegel eingesetzt, da man so leicht den Spiegel in das fertig montierte Instrument einsetzen kann ohne Gefahr zu laufen, die Drähte zu zerreifsen.

Um die Brauchbarkeit dieses Konstruktionsprinzips zu prüfen, wurden Vorversuche mit einem selbstgefertigten einfachen Instrument dieser Art angestellt.

Die Versuche zeigten, dafs in der That die thermische Nachwirkung fast vollständig beseitigt ist und man auf eine Genauigkeit der Messungen von $0{,}1$ % rechnen kann. Nach Versuchen mit Platinsilber-, Platin- und Platiniridiumdrähten ergab sich das Platinsilber als das für den Hitzdraht am meisten geeignete Material, da sein Temperaturkoefficient sehr klein ($0{,}_{00026}$) und sein Ausdehnungskoefficient ($0{,}_{00001523}$ nach Matthiessen) bedeutend gröfser als der des Platins ist. Coconfäden erwiesen sich für die Übertragung ungeeignet, da sie hygroskopisch sind und starke elastische Nachwirkung zeigen, dagegen sind dünne Platin- oder Platiniridiumdrähte sehr gut brauchbar.

Die hierbei gewonnenen Erfahrungen führten den Verfasser zur Konstruktion des in Fig. 5 dargestellten Instrumentes, das von Mechaniker Stieberitz in Dresden *) ausgeführt wurde.

Sämtliche Teile sind isoliert auf einer 2,5 mm starken Messingplatte montiert, die in das auf drei Stellschrauben ruhende Grundbrett eingelassen und nur in der Mitte durch zwei Schrauben befestigt ist. Alle Befestigungsstellen der Drähte sind mit Klemmbacken und leicht zu handhabenden Nachstellvorrichtungen versehen, so dafs das Einstellen und Justieren bequem geschehen kann

Aufserdem sind zwei Arretiervorrichtungen hinzugefügt, die sich bei den Vorversuchen besonders für das Einziehen der Drähte und dem Transport des Instrumentes als nötig herausgestellt hatten. Sie gestatten einerseits, das an der Feder befestigte Aluminiumstück gegen zwei Anschläge zu drücken, und aufserdem den Spiegelträger durch eine Art Scheere festzuklemmen.

Die Spannung der Hilfsfeder ist so zu regulieren, dafs der Mefsdraht und der Hitzdraht etwa gleiche Spannung haben. Die Dämpfung der Schwingungen erfolgt, wie die Photographie Fig. 5 zeigt, durch einen Aluminiumflügel, der sich in Paraffinöl bewegt.

Zum Schutz ist über das ganze Instrument ein aufsen und innen schwarz lackierter 18,6 cm hoher Blechkasten gedeckt. Da bei gröfseren Ausschlägen Luftströmungen im Innern des Kastens entstehen würden, die ein Schwanken des Skalenbildes verursachen, ist in einer Entfernung von 8 mm über dem Hitzdraht ein 30 mm breiter Blechstreifen angebracht, welcher diese Erscheinung vollständig beseitigt.

§ 8.

Bericht über die Versuche an diesem Instrument.

Für die Untersuchung wurde als Hitzdraht ein 0,030 mm dicker Platinsilberdraht eingezogen und durch den elektrischen Strom längere Zeit ausgeglüht. Die Durchbiegung beträgt ungefähr 6 mm. Als Übertragungsdrähte dienen dünne (0,030 mm)

*) Josephinenstrafse 22.

gut ausgeglühte Platiniridiumdrähte. Der Skalenabstand ist für alle Messungsreihen 2000 mm.

Der Galvanometerwiderstand beträgt bei 18° C. 84,40 Ω. Er nimmt, da der Temperaturkoefficient des Platinsilbers 0,00026 ist, proportional dem Ausschlage etwas zu (Fig. 6). Nach der Methode der Spannungsvergleichung ergab sich

für den auf den Bogen reduzierten Ausschlag mm	der Widerstand des Hitzdrahtes Ω
14,7	84,42
29,8	84,55
89,5	84,97
135,9	85,30
228,8	86,00
424,5	87,50

Es ist also

$$w = 84{,}40 + 0{,}00730\, n\ \Omega,$$

worin n der Ausschlag in mm ist.

Sendet man durch das Instrument Strom, so schwingt zuerst der Spiegel etwas über die neue Ruhelage hinaus, die Einstellung erfolgt aber im Gegensatz zu anderen Hitzdrahtstrommessern sehr schnell, etwa in 3 Sek.

Eine Versuchsreihe über die thermische Nachwirkung bei 233 mm Ausschlag wird dies zeigen.

Nullpunkt vor dem Versuch	Ablesung	Ausschlag mm	Zeit vom Stromschlufs an
497,2			
	264,2	233,0	5 Sek.
	264,2	233,0	10
	264,2	233,0	20
	264,15	232,95	30
	264,15	232,95	45
	264,15	232,95	60
	264,15	232,95	1 Min. 30
	264,15	232,95	2
	264,2	233,0	3
	264,2	233,0	4

Nach Unterbrechung des Stromes ergaben sich folgende Ablesungen.

Ablesung mm	Zeit von der Stromunterbrechung an
497,4	5 Sek.
497,3	10
497,25	20
497,2	30
497,2	1 Min.
497,2	2
497,2	3

Um zu sehen, wieviel einzelne Beobachtungen von einander abweichen, wurde derselbe Strom mehreremals durch das Galvanometer gesendet, doch zwischen den einzelnen Beobachtungen öfter ein stärkerer oder geringerer Strom eingeschaltet.

Die hierbei gefundenen Werte sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt.

Ablesung bei Stromdurchgang mm	Nullpunkt mm	Ausschlag mm	Abweichung der berechn. Stromstärke vom Mittelwert in %
		232,7	+ 0,01
	497,1	232,7	+ 0,01
264,4		232,5	— 0,03
	497,1	232,5	— 0,03
264,6		232,6	— 0,01
	497,1	232,65	+ 0,00
264,5		232,65	+ 0,00
	497,15	232,65	+ 0,00
264,5		232,65	+ 0,00
	497,15	232,7	+ 0,01
264,6		232,6	— 0,01
	497,2	232,5	— 0,03
264,4		232,7	+ 0,01
	497,1	232,7	+ 0,01
264,4		232,7	+ 0,01
	497,1	232,7	+ 0,01
		Mittelwert 232,64	

Die in folgender Tabelle zusammengestellten Resultate einer Aichung mit Gleichstrom (Fig. 6) bei 18,7 ° C. zeigen

die Abhängigkeit der Empfindlichkeit $c = \frac{i}{\sqrt{n}}$ von dem Ausschlag n. Die Bestimmung der Stromstärke erfolgte wieder durch Messung der Spannung an den Klemmen eines 100 Ω Normalwiderstandes nach der Kompensationsmethode.

Ausschlag n, reduziert auf den Bogen mm	Stromstärke i in MA	Empfindlichkeit $c = \frac{i}{\sqrt{n}}$
33,1	25,36	4,410
75,9	39,86	4,576
119,5	51,62	4,722
165,15	62,33	4,850
213,65	72,62	4,968
263,75	82,55	5,083
314,85	92,55	5,216
362,65	100,97	5,362
421,8	111,46	5,427
363,1	100,97	5,299
315,25	92,55	5,213
263,95	82,55	5,081
213,85	72,62	4,966
165,05	62,32	4,851
119,35	51,56	4,719
75,75	39,83	4,578
33,2	25,32	4,496

Die so bestimmte Empfindlichkeit ist, wie zu erwarten, etwas von der Umgebungstemperatur abhängig. Zwei mit den gleichen Strömen bei verschiedenen Temperaturen vorgenommene Messungsreihen ergaben nachstehende Werte.

Temperatur ° C.	Stromstärke i in MA	Ausschlag n, reduziert auf den Bogen	Empfindlichkeit $c = \frac{i}{\sqrt{n}}$
18,4	44,84	93,65	4,634
18,4	63,00	168,65	4,851
18,6	78,89	245,8	5,032
18,8	98,75	352,1	5,263
19,4	112,93	433,1	5,426
26,9	44,79	91,95	4,671
27,0	62,95	166,1	4,884
27,0	78,84	242,6	5,062
27,0	98,77	348,3	5,292
27,0	112,93	429,0	5,452

Es ist also für

den Ausschlag n	Die Zunahme von c für 1^0 C. in %
91,95	0,093
166,1	0,079
242,6	0,071
348,3	0,067
429,0	0,063

§ 9.

Anwendungsgebiet der Instrumente.

Die beiden vorgeschlagenen Hitzdrahtgalvanometer werden überall gute Dienste thun, wo es sich darum handelt, den wirksamen Wert der Stromstärke oder Spannung von Wechselströmen zu messen, ohne umständliche Korrektionsrechnungen nötig zu haben, da eine Aichung mit Gleichstrom auch für Wechselströme von beliebig hoher Periodenzahl ausreicht. Man kann daher die Instrumente zur Bestimmung von niedrigen Selbstinduktionskoefficienten durch Messung des scheinbaren und des Ohmschen Widerstandes nach der Methode der Spannungsvergleichung und besonders zur Aichung von Strom- und Spannungsmessern mit Wechselstrom gut verwenden.

Elektrotechnisches Institut
der Techn. Hochschule zu Dresden.

Wilhelm Schwinning.

Fig. 1.

Abhängigkeit des äusseren Wärmeleitungscoefficienten von der Temperatur.

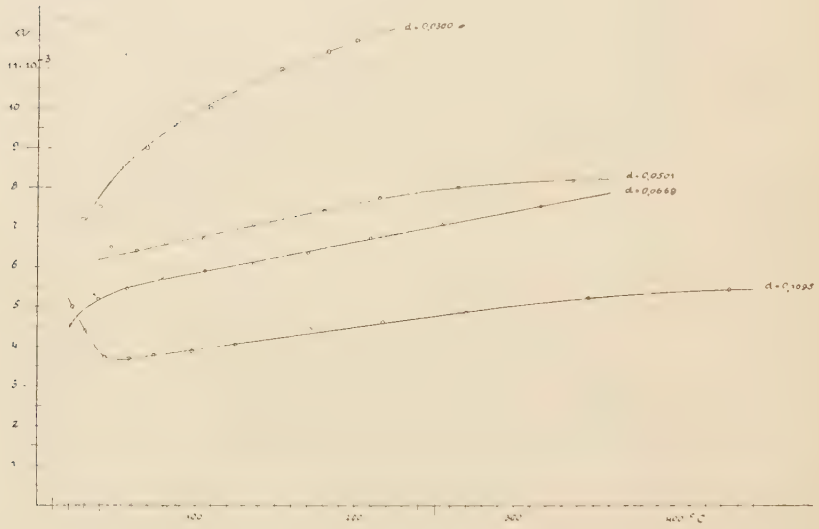


Fig. 2.

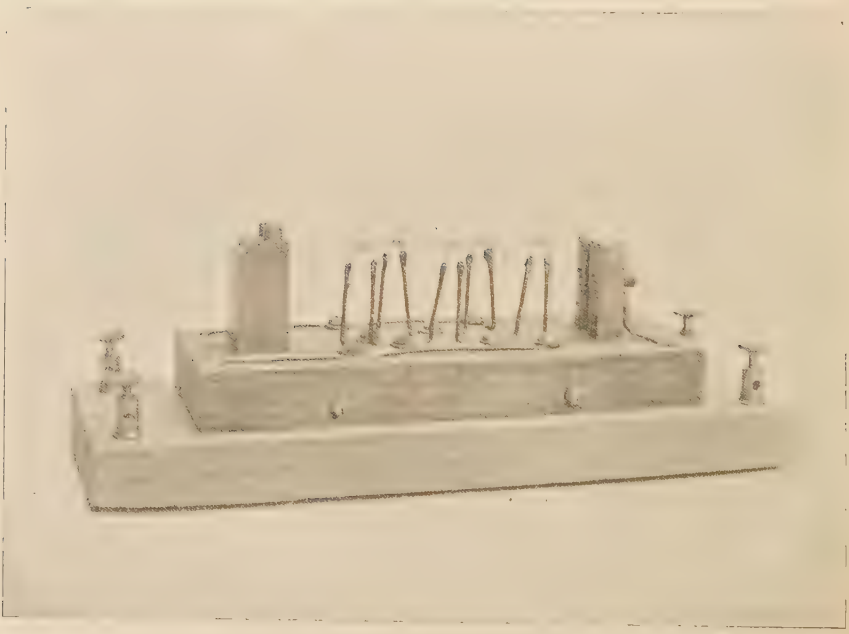


Fig. 3.

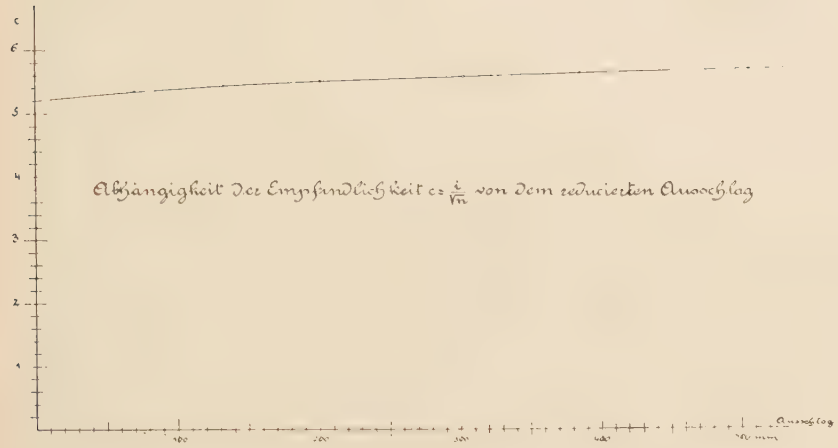

Abhängigkeit der Empfindlichkeit $\varepsilon = \frac{\varepsilon}{\sqrt{m}}$ von dem reducierten Ausschlag
Ausschlag

Fig. 4.

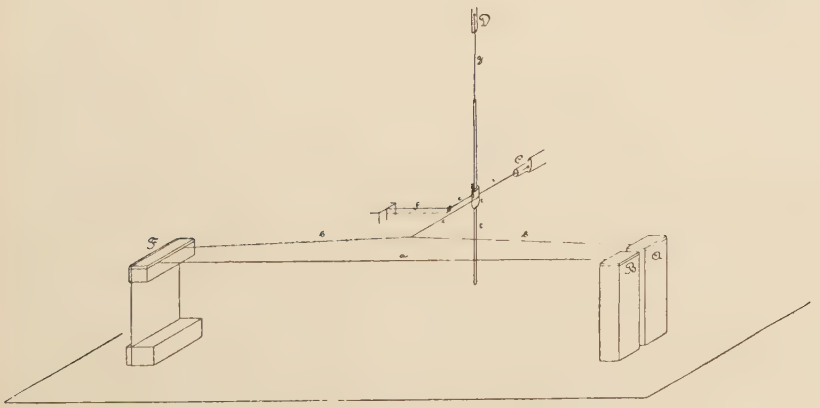


Fig. 5.

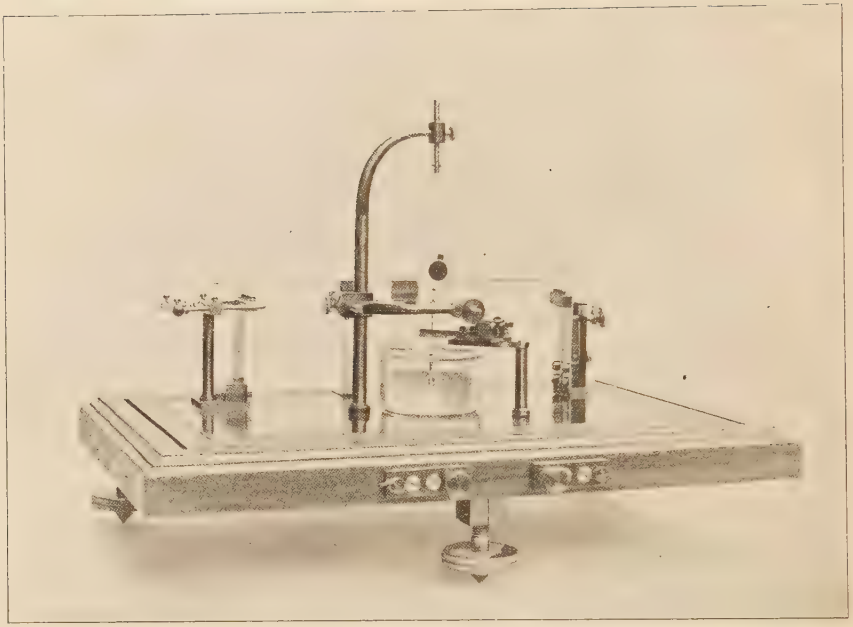
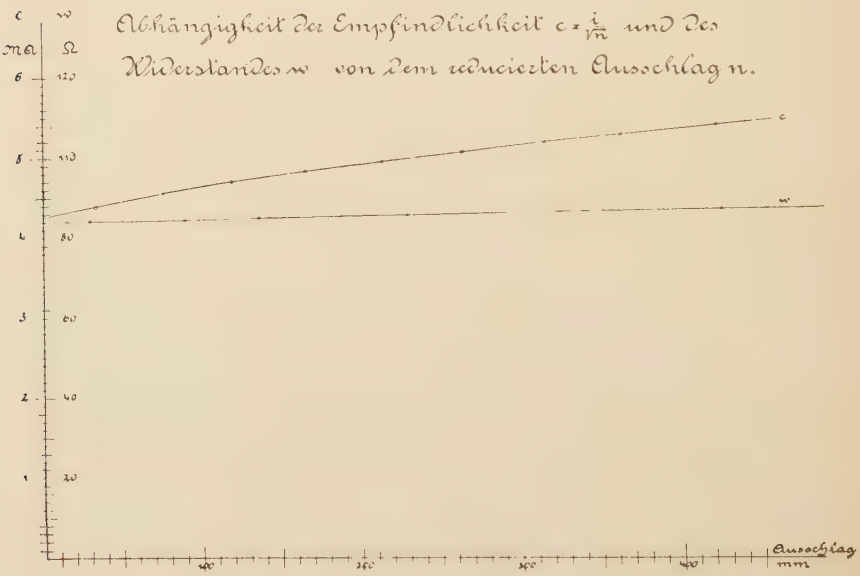


Fig. 6.



Abhängigkeit der Empfindlichkeit $c = \frac{1}{m}$ und des Widerstandes w von dem reducierten Ausschlag n.